

Применение метода адаптивного управления в электроприводе

Н.В. Решетникова

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Аннотация: В работе рассмотрены: синтез регуляторов системы подчиненного регулирования электропривода постоянного тока, разработка блоков адаптивного управления тока и скорости, моделирование адаптивных систем управления в среде визуального моделирования *Matlab/Simulink*.

Ключевые слова: система автоматического управления, электропривод, адаптивное управление, регулятор, подчиненное регулирование, *Matlab*, *Simulink*, двигатель постоянного тока.

На современных производствах существует высокий спрос на универсальные электрические машины, способные функционировать в широком диапазоне изменения параметров. Для электропривода постоянного тока актуально изменение суммарного момента инерции на валу электропривода в 5-10 раз от номинального вследствие изменения геометрии деталей и механизмов, подключенных к валу [1]. Изменение момента инерции на валу электропривода приводит к изменению механической постоянной времени электропривода, что приводит к несоответствию переходных процессов электропривода оптимальным. Таким образом, возникает задача адаптации к изменению механической постоянной времени [2].

Для решения данных задач необходимо выбрать принцип построения системы автоматического управления (САУ) электроприводом постоянного тока и принцип построения блоков адаптивного управления [3]. В качестве системы управления электроприводом в работе используется система подчиненного регулирования (СПР) [4]. Рассматривается математическая модель двухконтурной СПР скорости, которая состоит из внутреннего контура регулирования тока якоря электропривода и внешнего контура регулирования скорости вращения вала. Каждый контур имеет свой

собственный ПИ-регулятор [5]. Подобная модульная структура управления электроприводом идеально подходит для применения адаптивной системы управления с эталонной моделью и сигнальной адаптацией [6-8]. Для каждого из контуров СПР построены индивидуальные блоки адаптивного управления. Блок адаптивного управления током (БАУТ) обеспечивает адаптацию системы к изменению электромагнитной постоянной времени. Блок адаптивного управления скоростью (БАУС) обеспечивает адаптацию к изменению механической постоянной времени. Следует отметить, что математическая модель всегда имеет расхождение с натурным объектом, в связи с чем неотъемлемым этапом является оценка адекватности. Результаты моделирования могут быть использованы при синтезе систем только после сравнения с натурными экспериментами.

В качестве исполнительного двигателя электропривода выбран электродвигатель постоянного тока серии ДП-22 в быстроходном исполнении с продолжительностью включения 40%.

Для исследования показателей качества переходного процесса было произведено имитационное моделирование математической модели системы в среде визуального моделирования *Matlab/Simulink* с задатчиком интенсивности (ЗИ), состоящим из нелинейного элемента с нелинейной характеристикой типа «ограничение/насыщение» и интегрирующего элемента, без адаптивного управления [9,10]. На рис. 1 приведены результирующие переходные процессы математической модели.

Как видно из рис. 1, применение ЗИ позволяет успешно ограничить скачок тока при пуске электропривода до безопасных значений, однако это неизбежно приводит к уменьшению скорости переходных процессов. Показатели качества данной САУ принимаются за оптимальные.

На рис. 2 показаны реакции САУ скоростью на изменение постоянной времени двигателя $Tя$.

Как видно из графиков, приведенных на рис. 2, при увеличении электромагнитной постоянной времени электропривода значительно увеличиваются перерегулирование, время переходного процесса и колебательность по току, в меньшей степени увеличивается колебательность переходных процессов по скорости.

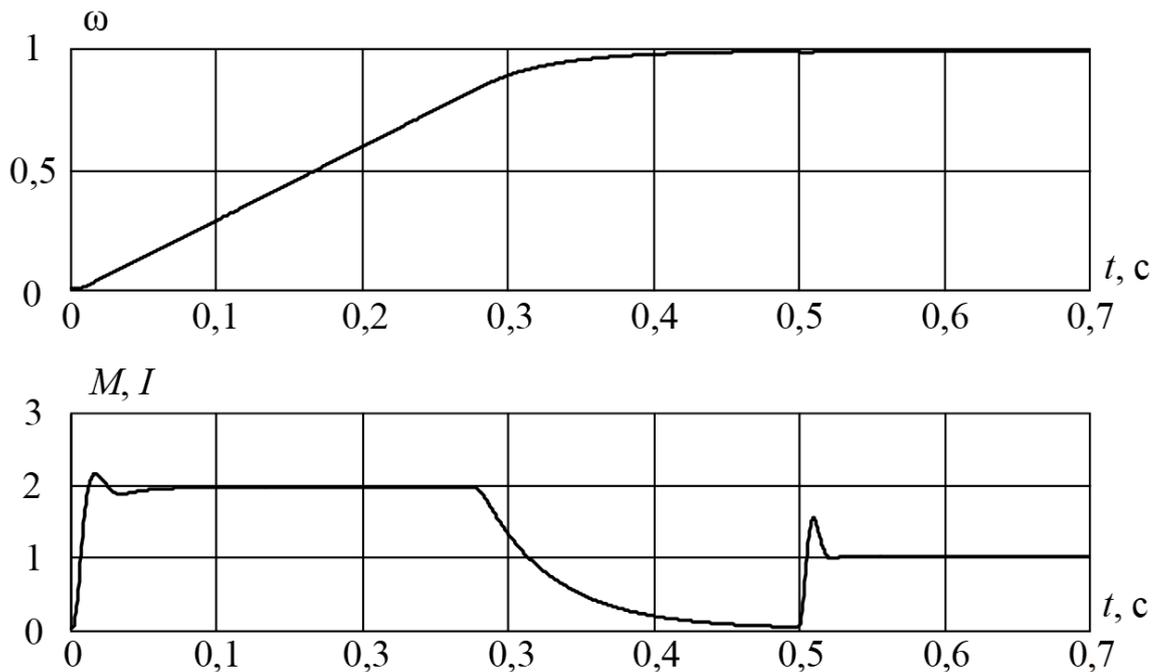


Рис. 1. – Переходные процессы САУ электроприводом постоянного тока с ЗИ

На рис. 3 представлено сравнение графиков переходных процессов САУ скоростью с $T_{я}$, увеличенном в два раза и САУ скоростью с БАУТ с $T_{я}$, увеличенном в два раза.

Как видно на рис. 3, БАУТ позволяет достигнуть эффекта адаптации к увеличению $T_{я}$.

На рис. 4 представлено сравнение графиков переходных процессов САУ с БАУТ при $T_{я}$, увеличенном в 2 раза с оптимальной САУ скоростью. Как видно из графиков на рис. 4, разница между переходными процессами САУ с БАУТ при $T_{я}$, увеличенном в два раза и эталонной САУ скоростью минимальна (графики фактически накладываются друг на друга).

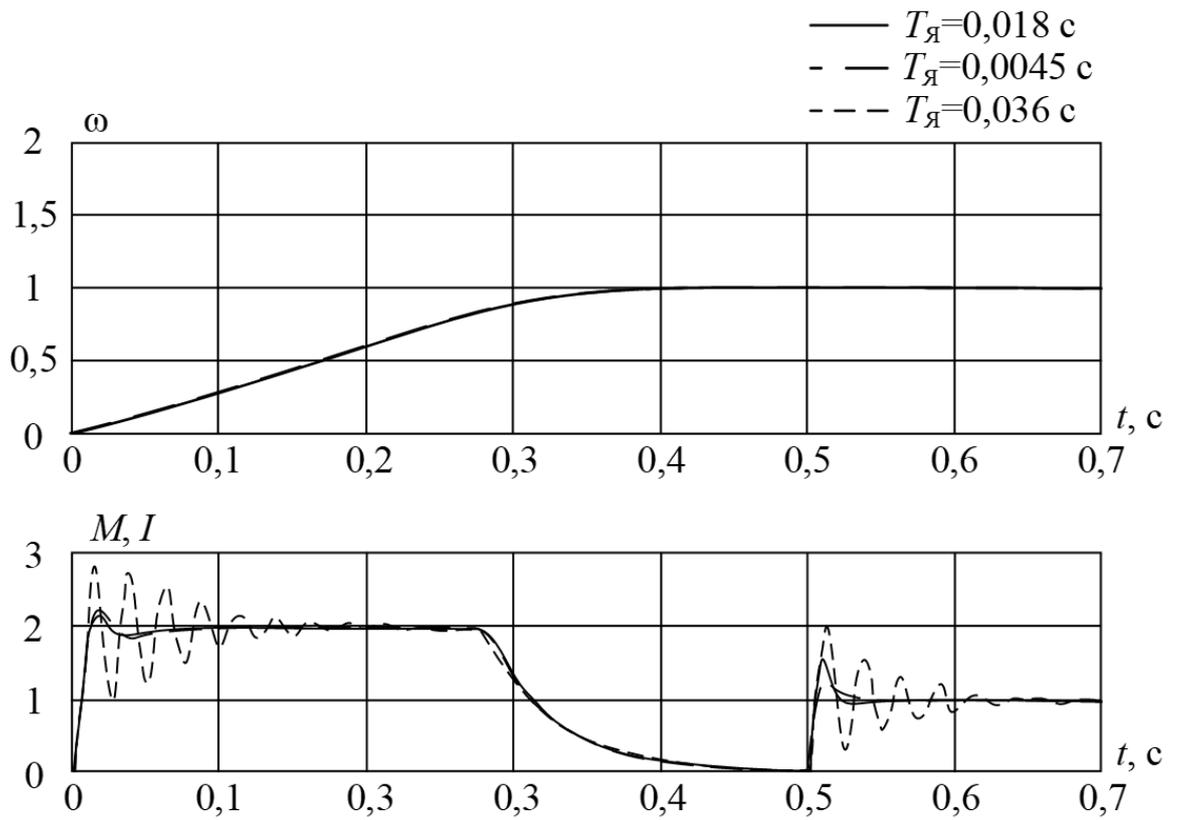


Рис. 2. – Реакции САУ скоростью на изменение $T_{я}$

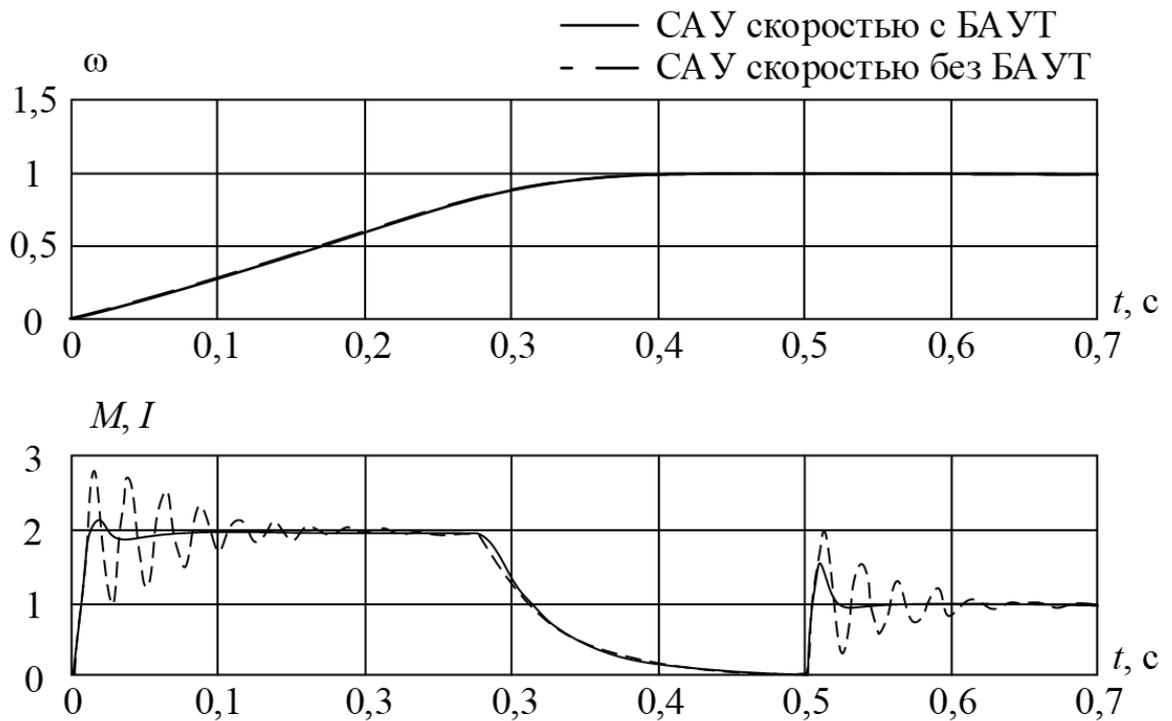


Рис. 3. Переходные процессы САУ без БАУТ и САУ с БАУТ при $T_{я}=0,036$ с

Одинаковая скорость протекания переходных процессов обеих систем говорит об эффективности работы БАУТ.

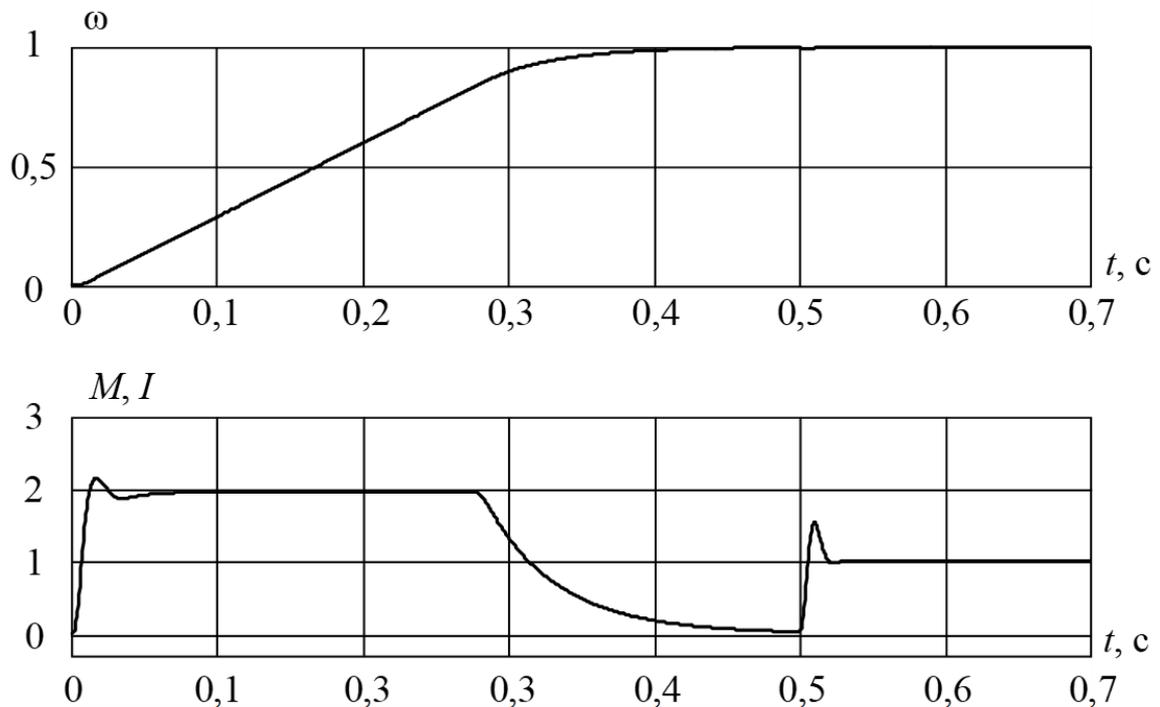


Рис. 4. Переходные процессы САУ с БАУТ при $T_{я} = 0,036$ с и эталонной САУ скоростью

Основываясь на данных компьютерного моделирования адаптивных систем управления электроприводом постоянного тока, можно сделать вывод, что применение блоков адаптивного управления с эталонной моделью является эффективным способом обеспечения инвариантности системы управления электропривода постоянного тока к изменению постоянных времени. В дальнейшем планируется реализация синтезированной системы на натурном макете.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № FSRF-2023-0003, «Фундаментальные основы построения помехозащищенных систем космической и спутниковой связи, относительной навигации, технического зрения и аэрокосмического мониторинга».

Литература

1. Нестеров А. А., Нестеров А. В., Нестеров С. В. Методика расчета момента инерции электропривода с двигателем постоянного тока по экспериментальным кривым тока его якоря // Юбилейная XX Международная Интернет-ориентированная конференция молодых ученых и студентов по современным проблемам машиноведения – Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, 2008. – С. 102.
 2. Решетникова Н. В., Панкратов А. Г., Швецов Д. С., Шишков И. А. Моделирование магнитного поля двигателя постоянного тока ПЛ-072 УЗ // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы : Сборник статей XXVI Международная научная конференция. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2023. – С. 183-192.
 3. Nguyen H. Q., Vo T. Ha. / Adaptive neuro-fuzzy Inference systems (ANFIS) control for electric power steering system // Science Journal of Transportation. – 2024. – No. 1(17). – pp. 32-46.
 4. Томчина О. П., Бобкова А. В., Антипин С. С., Нестерова А. А. Адаптивная двухконтурная система подчиненного регулирования скорости электромеханической системы // Наука нового времени: сохраняя прошлое - создаем будущее: Сборник научных статей по итогам Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург: Общество с ограниченной ответственностью "Редакционно-издательский центр "КУЛЬТ-ИНФОРМ-ПРЕСС", 2017. – С. 236-239.
 5. Юшков И. С., Вильгельм Д. В., Мартынов А. В. Сравнение ПИ-регулятора и релейного регулятора в современном электроприводе // Modern Science. – 2020. – № 2-1. – С. 399-402.
-

6. Li G. / Improved Sliding Mode Model Reference Adaptive System Observer // International Journal of Computers, Communications and Control. – 2024. – Vol. 19, No. 5. URL: researchgate.net/publication/383674379_Improved_Sliding_Mode_Model_Reference_Adaptive_System_Observer.

7. Попов А. И., Гончаров А. С. Адаптивная система прямого цифрового управления следящего рулевого электропривода автономных объектов // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2011. – № 1. – С. 37-41.

8. Солонников Ю. Я., Иванов В. Э. Реализация адаптивного нечеткого ПИД-регулятора для системы управления подчиненного регулирования двухконтурного электропривода постоянного тока // Информационные технологии XXI века: сборник научных трудов. – Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2017. – С. 100-110.

9. Савельичев, А. А. Применение задатчиков интенсивности в системах позиционирования звеньев промышленных манипуляторов // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Двадцатая международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов. Москва: Издательский дом МЭИ, 2014. – С. 264.

10. Бураков М. В. Нелинейные ПИД-регуляторы для управления электроприводом // Автоматизированный электропривод и промышленная электроника: Труды Шестой Всероссийской научно-практической конференции / Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2014. – С. 12-19.

References

1. Nesterov A. A., Nesterov A. V., Nesterov S. V. Yubilejnaya XX Mezhdunarodnaya Internet-orientirovannaya konferenciya molody`x ucheny`x i studentov po sovremenny`m problemam mashinovedeniya. Moskva, Federal`noe

gosudarstvennoe byudzhethnoe uchrezhdenie nauki Institut mashinovedeniya im. A.A. Blagonravova Rossijskoj akademii nauk, 2008. 102 p.

2. Reshetnikova N. V., Pankratov A. G., Shveczov D. S., Shishkov I. A. Volnovaya e`lektronika i infokommunikacionny`e sistemy`: Sbornik statej XXVI Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya. Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskij gosudarstvenny`j universitet ae`rosmicheskogo priborostroeniya, 2023. pp. 183-192.

3. Nguyen H. Q., Vo T. Ha. Science Journal of Transportation. 2024. No. 1(17). pp. 32-46.

4. Tomchina O. P., Bobkova A. V., Antipin S. S., Nesterova A. A. Nauka novogo vremeni: soxranayaya proshloe - sozdaem budushhee. Sbornik nauchny`x statej po itogam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Sankt-Peterburg, Obshhestvo s ogranichennoj otvetstvennost`yu "Redakcionno-izdatel`skij centr "KUL`T-INFORM-PRESS", 2017. pp. 236-239.

5. Yushkov I. S., Vil`gel`m D. V., Marty`nov A. V. Modern Science. 2020. № 2-1. pp. 399-402.

6. Li, G. International Journal of Computers, Communications and Control. 2024. Vol. 19, No. 5 URL: researchgate.net/publication/383674379_Improved_Sliding_Mode_Model_Reference_Adaptive_System_Observer.

7. Popov A. I., Goncharov A. S. E`lektrotexnicheskie komplekсы` i sistemy` upravleniya. 2011. № 1. pp. 37-41.

8. Solonnikov Yu. Ya., Ivanov V. E`. Informacionny`e texnologii XXI veka, sbornik nauchny`x trudov. Xabarovsk, Tixookeanskij gosudarstvenny`j universitet, 2017. pp. 100-110.

9. Savel`ichev, A. A. Radioe`lektronika, e`lektrotexnika i e`nergetika : Dvadczataya mezhdunarodnaya nauchno-texnicheskaya konferenciya studentov i aspirantov. Moskva, Izdatel`skij dom ME`I, 2014. 264 p.



10. Burakov M. V. Avtomatizirovannyj e`lektroprivod i promy`shlennaya e`lektronika: Trudy` Shestoj Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Novokuzneczk, Sibirskij gosudarstvennyj industrial`nyj universitet, 2014. pp.12-19.

Дата поступления: 14.02.2025

Дата публикации: 26.03.2025